

**И.Б. СКЛЯРОВ**, гл. инж.,

**Ю.В. ЧЕРНЯК**, м.н.с., Институт ионосферы (г. Харьков)

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ СО СЛОЖНЫМ ЗОНДИРУЮЩИМ СИГНАЛОМ**

В статті розглянуто апаратні та методичні особливості роботи двочастотної системи виміру іоносферних параметрів методом НР, зокрема наведена структура і опис роботи системи синхронізації і задаючої системи радару НР при реалізації двочастотного способу зондування іоносфери. Наведені результати експериментальних вимірів в цім способом.

In a paper instrumental and methodical peculiarities of a construction of two- frequency systems for a measurement of ionospheric parameters by a IS technique are considered. The structure and operation exposition of a synchronization and assigning system of the radar IS by realizing a two- frequency mode of an ionosphere exploration is reduced. The results of experimental measurements in by using of this mode are presented.

В настоящее время стоит задача одновременно в широком интервале высот получать методом некогерентного рассеяния (НР) информацию об основных параметрах ионосферной плазмы, необходимую для решения проблем солнечно-земной физики, моделирования процессов в ионосфере, практических задач, связанных с распространением электромагнитных волн в околоземном пространстве. Цель статьи – описание одного из вариантов решения данной задачи.

Простые зондирующие сигналы не позволяют вести исследование ионосферы в широком интервале высот одновременно и с достаточной точностью. Анализ высотного строения ионосферы и особенностей работы импульсных установок НР показал на необходимость применения составных зондирующих сигналов для получения вертикального распределения параметров ионосферы в интервале высот 100...1500 км. Общий принцип их формирования описанный в [1] следующий: зондирующий сигнал составляется из дискретных частотных элементов; элемент, предназначенный для зондирования больших высот, формируется в начале посылки, а элемент, предназначенный для малых высот, завершает посылку. На радаре НР Института ионосферы был разработан и экспериментально апробирован способ измерения параметров ионосферы, основанный на использовании сигнала, состоящего из дискретных частотных элементов [2].

**Основная часть.** Формирование сложного зондирующего сигнала – в рассматриваемом случае двухчастотной импульсной последовательности с требуемыми значениями частот и длительностей, а также сигналы синхронизации для передающего устройства и системы обработки обеспечивает задающая система радару НР. Существующая задающая система вырабатывает

все необходимые частоты для работы систем контроля, приемника и передатчиков, а также обеспечивает безинерционную перестройку основной несущей частоты передающих устройств и соответственно частоты 1<sup>го</sup> гетеродина в пределах  $\pm 4$  МГц.

При работе радара в режиме двухчастотного зондирования необходимо обеспечить работу передающих устройств на двух сдвинутых относительно друг друга на 100 кГц частотах, смещенных по времени в пределах одной развертки дальности. Для двух каналов входных устройств приемника необходимо вырабатывать две частоты для формирования соответствующих частот первых гетеродинов  $f_{г/8}$  и  $f'_{г/8}$ . Для обеспечения такого режима работы была дополнительно доработана задающая система, позволившая ввести сдвинутую частоту для передатчиков и приемников. Рабочая частота при таком режиме работы составляет  $f_0 + 100$  кГц (выбрана с учетом полосы пропускания приемника радара), где  $f_0$  - основная рабочая частота. Блок-схема задающей системы представлена на рис. 1

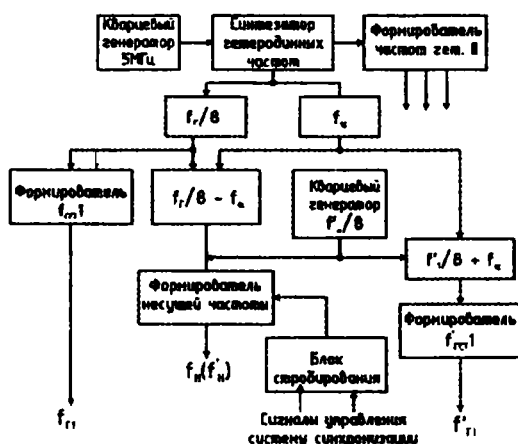


Рис. 1. Блок-схема задающей системы радара НР

В задающем генераторе все частоты формируются из одной опорной частоты  $f_{кв} = 5$  МГц, поступающей от высокостабильного генератора. Частота 5 МГц поступает на делители частоты, где в результате деления частоты образуется сетка вспомогательных частот. Из этого набора частот вырабатываются сигналы с частотами  $f_{г/8}$ ,  $f_{\alpha}$  - сигналов, которые необходимы для выработки несущей частоты передатчиков и гетеродинов приемника.

Частота  $f_{г/8}$  усиливается и используется в приемнике для формирования частоты 1-го гетеродина одного из каналов приемника. Для создания частоты первого гетеродина второго канала приемника используется вспомогательный высокостабильный кварцевый генератор, вырабатывающий частоту  $f'_{г/8}$ , которая в блоке  $f'_{г/8} + f_{\alpha}$  суммируется с частотой  $f_{\alpha}$ .

Для формирования одной из несущих частот передатчиков  $f_n$  в блоке формирования частоты  $f_{г/8} - f_\alpha$  из частоты  $f_{г/8}$  вычитается частота  $f_\alpha$ . Для формирования второй несущей частоты передатчиков  $f'_n$  используется частота  $f_{г/8}$ . В блоке умножителей частота  $f_{г/8}$  умножается на 8 и подается на блок усилителя мощности, где эта частота усиливается и через согласующее устройство подается на передатчик. В этом же блоке производится стробирование высокочастотных сигналов для формирования зондирующей последовательности (рис.2). Импульс запуска передатчика (ИЗП) смещен относительно нуля развертки дальности для минимизации искажений вызванных процессом нарастания переднего фронта зондирующего импульса. Управляющие сигналы стробирования вырабатываются в блоке стробирования из сигналов системы синхронизации комплекса.

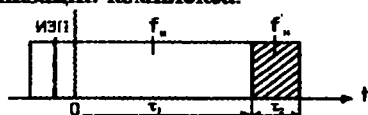


Рис 2 Последовательность несущей частоты, вырабатываемая задающей системой

Для обеспечения возможности измерения радаром НР ионосферных параметров с минимальными погрешностями во времени необходимо обеспечить высокую стабильность всех вырабатываемых задающей системой частот. Для этого в устройстве используются высокостабильные кварцевые генераторы с двойным и тройным термостатированием.

При реализации режима двухчастотного зондирования длительность элемента с частотой  $f_n$  составила  $\tau_1 = 700$  мкс. Элемент с частотой  $f'_n$  имеет длительность 65 мкс, что обеспечивает разрешающую способность по высоте около 10 км. НР сигнал принимается приемно-обрабатывающим устройством, которое имеет два канала, настроенных на несущие частоты  $f_n$  и  $f'_n$ .

В канале, соответствующем элементу импульсной последовательности с частотой  $f_n$  определяются значения мощности и корреляционных функций НР сигнала с разрешающей способностью по высоте  $\Delta h = c\tau_1/2$ . По этим корреляционным функциям путем сравнения с теоретически рассчитанными определяются электронная ( $T_e$ ) и ионная ( $T_i$ ) температуры [3]. В канале, соответствующему элементу несущей с частотой  $f'_n$ , определяется нормированный высотный профиль мощности  $P_{sn}(h)$  принятого сигнала с разрешающей способностью по высоте  $\Delta h = c\tau_1/2$ . Особенностью алгоритма обработки данных, полученных в этом канале, является то, что элемент послышки, обеспечивающий необходимую разрешающую способность по высоте при измерении профиля мощности НР сигнала на нижних высотах, не позволяет определять АКФ НР сигнала и соответственно соотношения  $T_e/T_i$ , необходимое при определении  $N_e$  методом профиля мощности согласно выражению [4]:

$$N_{e \text{ норм}}(h) = P_{sn}(h) h^2 [1 + T_e(h)/T_i(h)] \quad (1)$$

Высотный ход соотношения  $T_e/T_i$  в этом случае может быть рассчитан путем интерполяции от 1 (в диапазоне 100-180 км, учитывая, что на этих высотах

обычно сохраняется тепловое равновесие между электронным, ионным и нейтральным компонентами  $T_e = T_i = T_n$  до значений, полученных в том же сеансе измерений по данным канала частоты  $f_{\text{д}}$  (с высоты около 200 км, где определена полная АКФ НР сигнала). Абсолютные значения высотного профиля электронной концентрации  $N_e(h)$  определяются по измеренному профилю относительных значений  $N_{e,\text{норм}}(h)$  привязкой его к значению  $N_{e,\text{м}}(h_{\text{м}})$  в максимуме ионизации области  $F_2$ , полученному по данным вертикального зондирования.

Результаты экспериментальных измерений с использованием сложного зондирующего сигнала представлены на рис 3. В левой части рисунка показаны измеренный профиль мощности, корреляционные функции и рассчитанные по ним высотные профили  $T_e$  и  $T_i$ . Справа представлены измеренный профиль мощности, рассчитанный профиль соотношения  $T_e/T_i$  и рассчитанный согласно выражению 1 профиль электронной концентрации.

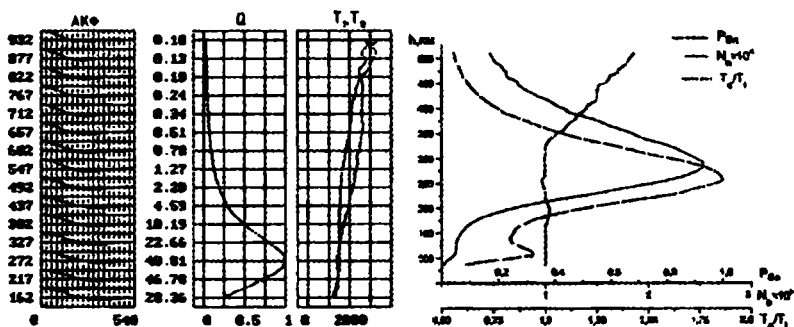


Рис.3. Высотные профили некоторых ионосферных параметров, полученные при использовании сложного зондирующего сигнала

**Выводы.** Использование радара НР в таком режиме работы позволяет при охвате большого диапазона высот (от 80–100 до 1500–1700 км) более точно измерять высотный профиль электронной концентрации на высотах в районе максимума ионизации и ниже его, где значителен высотный градиент электронной концентрации, а так же одновременно определять ряд других важных параметров ионосферы вплоть до высот ~1500 км.

**Список литературы:** 1. Рогожкин Е.В. Оптимизация зондирующего сигнала при исследовании структуры и динамики ионосферы методом НР/14 Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Тезисы докладов. Часть 1, М, 1984, с.108-109. 2. Черняк Ю.В. "Использование двухчастотного режима работы радара НР для определения параметров ионосферы в широком высотном интервале". Вестник НТУ ХПИ №5,9'2002. 3. Пуляев В.А. Обработка и представление данных некогерентного рассеяния. Сборник научных трудов, Вестник ХГПУ, Выпуск 31.-Харьков, ХГПУ.1999. 4. Емельянов Л. Я. Измерение высотных профилей электронной концентрации методом НР. Геомагнетизм и аэронавтика, 2002, том 42, №1, с. 116-120., Москва, 2002.

Поступила в редакцию 08.04.03